

**IMPLEMENTASI GELOMBANG-SINGKAT UNTUK PENGOLAHAN DATA SEISMİK****WAVELET IMPLEMENTATION FOR SEISMIC DATA PROCESSING**

Hasmansyah<sup>1</sup>, Adhi Susanto<sup>2</sup>, Jazi Eko Istiyanto<sup>3</sup>, dan Sukandarrumidi<sup>2</sup>

**ABSTRACT**

Seismic data processing which utilized the currently available hardware and software was also supported by the associated geological and geophysical data at hand. The seismic signal processing was based on some wavelet transform methods which have already shown their merits in reducing the needed computation involved. These methods worked on short segment signals and hence the implementation was closer to the "real time" demand. Coloured spectrum representations were exploited to ease operator's job for recognition of important information contained in the seismic data, the analysis time was about 0.22 ms. The results show that, even with the presence of inherent instrument noise, vital informations can be obtained. With an extra 0.11 ms time to denoise.

Keyword: Seismic data processing, wavelet, onset, spectrum.

**PENGANTAR**

Penelitian terhadap gunung berapi dilakukan guna mendapatkan karakteristik gunung berapi tersebut yang dimanfaatkan untuk pengelolaan dan awal peringatan dini terhadap bencana alam yang ditimbulkan oleh letusan gunung berapi. Keadaan ini diduga karena aktivitas yang muncul maupun hasil atas proses suatu sistem dinamika yang tidak linear, yaitu aliran magma pada gunung-api tersebut. Salah satu tanda adanya aktivitas adalah munculnya gempa vulkanik yang bentuknya bermacam-macam.

Sejumlah data seismik diperoleh dengan merekam gelombang seismik yang ditimbulkan dalam selang interval tertentu, atau secara kontinyu, dan kemudian mengolah data yang diperoleh untuk tujuan tertentu pula. Data yang diperoleh dari perekaman tersebut umumnya diolah setelah selang beberapa waktu setelah perekaman, sehingga tindakan peringatan yang dilakukan seringkali sangat terlambat atas kejadian berlangsungnya bencana alam gunung berapi. Kebutuhan pengolah data seismik dalam analisis data geologi dan geofisika telah menambah ragam peralatan perangkat-keras dan perangkat-lunak untuk mengolah data tersebut.

Pengembangan transformasi gelombang-singkat telah melahirkan satu bidang baru dalam pengolahan data-data tersebut. Dalam beberapa dekade terakhir transformasi gelombang-singkat telah merambah banyak bidang pengembangan dalam beragam ilmu. Dalam bidang elektronika, analisis gelombang-singkat dapat diimplementasikan untuk mengolah dan menapis data, menghilangkan sinyal/data yang tidak diinginkan, sehingga akan meningkatkan mutu data serta dapat mengompresi data-data tersebut, dan menghemat waktu komputasi.

Beberapa penelitian dengan menggunakan transformasi gelombang-singkat secara ekstensif telah dilaksanakan terhadap kompresi citra, audio, tutur, dan terhadap data seismik tektonik, sedangkan terhadap data seismik vulkanik masih belum banyak dilakukan dan terutama sekali dengan menggunakan gelombang-singkat. Transformasi gelombang-singkat adalah suatu proses matematis yang membagi data menjadi beberapa komponen data dengan kelompok frekuensi yang berbeda-beda. Analisis terhadap masing-masing komponen data dilakukan dengan menggunakan resolusi data yang sesuai dengan skalanya.

---

<sup>1</sup> Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro STTNas Yogyakarta

<sup>2</sup> Guru Besar Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta

<sup>3</sup> Staf Pengajar Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UGM, Yogyakarta

Pengamatan terhadap aktivitas gunung-api dapat dilakukan dengan mengklasifikasi jenis gempa dan mengamati interval dan tingkat kemunculannya dalam kurun waktu tertentu, serta bagaimana hubungannya terhadap aktivitas seismik dan vulkanik gunung-api. Gempa vulkanik dibagi menjadi 4 jenis berdasarkan lokasi sumber kejadian, hubungannya dengan erupsi dan ciri gerakan gempa; yaitu tipe A, tipe B, gempa-ledakan, dan getaran vulkanik (Minakami, 1974). Berdasarkan klasifikasi tersebut diadakan pengamatan terhadap kemunculan masing-masing tipe tersebut dan hubungannya terhadap aktivitas seismik vulkanik beberapa gunung-api, antara lain; aktivitas kaldera Kakuto (1968-1969), aktivitas seismik serta letusan gunung Miyakesima (1962), rumpun gempa gunung-api Hakone (1959-1960 dan 1966). Hasilnya adalah adanya korelasi kuat antara tingkat kemunculan tipe-tipe gempa tertentu dan aktivitas seismik dan vulkanik gunung-api tersebut. Langkah pengamatan yang sama dilakukan oleh Dible (1974) terhadap aktivitas gunung Ruapehu, dan Fadeli (1987) terhadap aktivitas gunung Merapi dalam kurun waktu sebelum dan selama letusan (1985-1986) dengan hasil relatif sama.

Ciri-ciri aktivitas seismik dibandingkan dengan perubahan-perubahan utama aktivitas vulkanik, menunjukkan hasil adanya keterkaitan antara aktivitas seismik dan vulkanik gunung-api dengan kemunculan kelompok-kelompok pola gempa tertentu (Sudarmaji, 1999). Seismisitas dibagi dalam dua kategori, yaitu seismisitas vulkanik dan seismisitas eksplorasi. Seismik eksplorasi berkaitan dengan tiga tujuan utama, yaitu: Akuisisi, prosesi, dan interpretasi data seismik (Yilmaz, 1987). Analisis data seismik dipahami sebagai dasar teknik yang digunakan dalam pemrosesan data seismik. Urutan yang digunakan dalam pemrosesan data seismik adalah dekonvolusi, pengaturan, dan perpindahan.

Tujuan akhir pengolahan data seismik adalah untuk memudahkan studi data-data atas suatu kejadian seismik dengan menganalisis data tersebut secara cepat. Guna mencapai kecepatan analisis, digunakan bantuan mesin dan berbagai metode yang dapat membantu penyelesaian masalah yang dihadapi tersebut. Dalam hal ini analisis data seismik dilaksanakan dengan menggunakan gelombang-singkat untuk mempercepat proses transformasi sinyal sehingga didapatkan data yang tepat dan akurat.

Transformasi gelombang-singkat merupakan pemetaan atas fungsi  $f(t) \in L^2(\mathbb{R})$  yang gayut pada parameter waktu  $t$ , untuk suatu fungsi  $\check{f}(\sigma, \tau)$  gayut pada skala atau dilatasi parameter  $\sigma$  dan translasi waktu parameter  $\tau$ . Didefinisikan

$$\check{f}(\sigma, \tau) = W\{f, \psi\}(\sigma, \tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{|\sigma|}} \overline{\psi\left(\frac{t-\tau}{\sigma}\right)} dt. \quad (1)$$

Fungsi  $\psi(t)L^2 \in (\mathbb{C})$  disebut analisis gelombang-singkat, yang harus memenuhi kondisi yang dapat dipenuhi karena rekonstruksi sebaliknya  $f(t)$  dari  $\check{f}(\sigma, \tau)$  tidak memungkinkan, seperti yang ditunjukkan pada persamaan (5),

$$C_{\psi} = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\hat{\psi}(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega < \infty, \quad (2)$$

dengan  $\hat{\psi}(\omega)$  adalah transformasi Fourier atas  $\psi(t)$ . Jika  $t\psi(t) \in L^2(\mathbb{R})$ , ini merupakan suatu kasus pada gelombang-singkat, maka  $\hat{\psi}(\omega)$  adalah kontinyu dan persamaan (2) menunjukkan  $\hat{\psi}(0) = 0$  atau  $\int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) dt = 0$ . Maka  $t\psi(t) \in L^2(\mathbb{R})$  diinterpretasikan sebagai penghilangan  $\psi(t)$  dari  $t^{-1}$  untuk  $t \rightarrow \pm\infty$ . Kondisi nol rata-rata untuk gelombang-singkat menyatakan pertukaran salah satu tanda pada garis riil, dengan menghilangkan  $t \rightarrow \pm\infty$  akan memperjelas gelombang-singkat. Dengan menganggap fungsi  $L^2(\mathbb{R})$  gelombang-singkat pada persamaan (2). Persamaan ini memperjelas definisi gelombang-singkat oleh

$$\psi_{\sigma,\tau}(t) = \frac{1}{\sqrt{|\sigma|}} \psi\left(\frac{t-\tau}{\sigma}\right), \quad (3)$$

transformasi gelombang-singkat dapat dituliskan sebagai *inner product* antara  $f$  dan  $\psi_{\sigma,\tau}$ ,

$$W\{f, \psi\}(\sigma, \tau) = \langle f, \psi_{\sigma,\tau} \rangle. \quad (4)$$

Paramater  $\sigma$  mengatur lebar gelombang-singkat. Andaikan gelombang-singkat  $\psi(t)$  dipusatkan pada keliling interval  $t_c$  dengan lebar  $\Delta t$ , maka  $\psi_{\sigma,\tau}(t)$  adalah pemusatan pada keliling interval  $\sigma t_c + \tau$  dengan lebar  $\sigma \Delta t$ . Jika gelombang-singkat  $|\sigma| < 1$  dipusatkan dan jika gelombang-singkat  $|\sigma| > 1$  dikembangkan. Untuk jelasnya, diasumsikan  $\sigma > 0$ , maka gelombang-singkat  $\tau < -t_c / \sigma$  digeser kekiri dan jika  $\tau > -t_c / \sigma$  gelombang-singkat digeser kekanan pada sumbu waktu.

Pada persamaan (1) gelombang-singkat diskalakan dengan faktor  $|\sigma|^{-1/2}$  untuk memastikan normalisasi energi. Selanjutnya jika  $\int_{-\infty}^{\infty} |\psi(t)|^2 dt = 1$  maka  $\int_{-\infty}^{\infty} |\psi_{\sigma,\tau}(t)|^2 dt = 1$ .

Ini memungkinkan untuk memperbaiki fungsi  $f(t)$  dengan transformasi gelombang-singkat  $\check{f}(\sigma, \tau)$  jika  $\psi(t)$  memenuhi persamaan (2). Resolusi pada kondisi identitas untuk semua  $f, g \in L^2(\mathbb{R})$ ,

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \check{f}(\sigma, \tau) \overline{\check{g}(\sigma, \tau)} \frac{d\tau d\sigma}{\sigma^2} = C_{\psi} \langle f, g \rangle. \quad (5)$$

Sekarang untuk memperjelas bagaimana persamaan (2) ditentukan: jika  $C_{\psi} = \infty$  maka resolusi identitas tidak akan disimpan.

Persamaan (5) jika dimungkinkan untuk mencari transformasi gelombang-singkat balik, yang didefinisikan dengan:

$$f(t) = W^{-1} \left\{ \check{f}, \psi \right\}(t) = \frac{1}{C_{\psi}} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \check{f}(\sigma, \tau) \frac{1}{\sqrt{|\sigma|}} \psi\left(\frac{t-\tau}{\sigma}\right) \frac{d\tau d\sigma}{\sigma^2}. \quad (6)$$

Bila menggunakan gelombang-singkat riil, tidak dipenuhi dalam persamaan (6) untuk menggunakan nilai negatif  $\sigma$  jika mengubah satu kondisi yang dapat diterima pada persamaan (7) untuk kondisi  $\psi$

$$C_{\psi} = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\hat{(\psi \omega)}|^2}{|\omega|} d\omega = \int_0^{\infty} \frac{|\hat{(\psi \omega)}|^2}{|\omega|} d\omega < \infty, \quad (7)$$

dengan menyelesaikan gelombang-singkat riil, maka  $\hat{\psi}(\omega) = \hat{\psi}(-\omega)$ . Dalam kasus gelombang-singkat riil,  $C_{\psi}$  pada persamaan (7) adalah setengah nilai  $C_{\psi}$  pada persamaan (2).

Diskretisasi parameter skala  $\sigma$  secara alami memilih  $\sigma = \sigma_0^m$  dengan  $m \in \mathbb{Z}$ . Untuk  $m = 0$  secara alami diskretisasi  $\tau$  oleh  $\tau = n\tau_0$  dengan  $n \in \mathbb{Z}$  dan  $\tau_0 > 0$ . Nilai  $\tau_0$  harus dipilih dengan cara gelombang-singkat  $\psi(t - n\tau_0)$  pada sumbu- $t$ . Untuk  $m$  yang berbeda, lebar  $\sigma_0^{-m/2} \psi(\sigma_0^{-m} t)$  adalah lebar waktu  $\sigma_0^m$  pada  $\psi(t)$ , jadi pemilihan  $\tau = n\tau_0 \sigma_0^m$  memastikan diskretisasi gelombang-singkat pada  $m$  yang mencakup sumbu- $t$  dengan cara yang sama berlaku juga untuk  $\psi(t - n\tau_0)$ . Persamaan  $\psi_{m,n}(t)$  didefinisikan sebagai

$$\psi_{m,n}(t) = \frac{1}{\sqrt{\sigma_0^m}} \psi\left(\frac{t}{\sigma_0^m} - n\tau_0\right). \quad (8)$$

Dengan memilih  $\sigma$  dan  $\tau$  transformasi gelombang-singkat diskret didefinisikan oleh analog persamaan (1)

$$\check{f}_{m,n} = \langle f, \psi_{m,n} \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{\sigma_0^m}} \overline{\psi\left(\frac{t}{\sigma_0^m - n\tau_0}\right)} dt, \quad (9)$$

dengan  $\sigma_0 > 1, \tau_0 > 0$  dan  $m, n \in \mathbb{Z}$ .  $\check{f}_{m,n}$  sebagai koefisien gelombang-singkat.

Dalam kasus yang berkesinambungan, dimungkinkan untuk menetapkan transformasi gelombang-singkat balik oleh resolusi identitas persamaan (5). Bagaimana pun, dalam kasus diskret tidak sama dengan resolusi identitas terkecuali jika gelombang-singkat adalah ortonormal. Ini menentukan jika fungsi dapat direkonstruksi dari transformasi gelombang-singkat diskret. Rekonstruksi ini dinamakan *frames* (bingkai). Bingkai merupakan himpunan vektor tidak-gayut, tetapi dapat digunakan secara ekspansi atas vektor dalam ruang. Jika  $\psi_{m,n}$  merupakan suatu bingkai, maka terdapat dua konstanta  $A > 0$  dan  $B < \infty$ , sehingga

$$A\|f\|^2 \leq \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} |\langle f, \psi_{m,n} \rangle|^2 \leq B\|f\|^2. \quad (10)$$

Batasan bingkai bergantung pada  $\psi, \sigma_0$  dan  $\tau_0$ . Jika  $\psi, \sigma_0$  dan  $\tau_0$  dipilih berdasarkan adanya  $A > 0$  dan  $B < \infty$ , maka dimungkinkan untuk merekonstruksi  $f$  berdasar:

$$f(t) = \frac{2}{A+B} \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \langle f, \psi_{m,n} \rangle \psi_{m,n}(t) + \mathcal{R}\{f\}(t), \quad (11)$$

dengan  $\mathcal{R}\{f\}(t)$  adalah sisa. Jika  $A$  dan  $B$  tertentu misal  $B/A \approx 1$ , maka  $\mathcal{R}\{f\}$  sangat kecil dan dapat diabaikan.

## CARA PENELITIAN

Penelitian dilakukan dalam tahapan-tahapan sebagai berikut.

- Pengumpulan data seismik vulkanik berupa sejumlah rekaman stasiun pengamatan di Jurusan Geofisika Fakultas MIPA UGM.
- Pemotongan rekaman data asli menjadi data sesaat untuk memudahkan dalam pengamatan dan pengolahan dengan perangkat-lunak Matlab.
- Mengubah data asli menjadi data ASCII yang akan memudahkan pembacaan data oleh perangkat lunak dengan menggunakan program Pitsa.
- Penyimpanan kembali data digital ASCII berikut keterangan stasion dan waktu awal dan akhir data yang diambil.
- Diasumsikan bahwa semua aspek geologi dianggap homogen.

Penelitian diawali dengan mengambil contoh isyarat seismik dari beberapa stasion, memotong sinyal asli tersebut dan mengubah ke bentuk ASCII dengan menggunakan program PITSA (*Programmable Interactive Toolbox for Seismological Analysis*) untuk nantinya diuji dan dipakai dalam program yang dirancang dengan menggunakan bantuan *toolbox wavelet* pada Matlab.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Rekaman isyarat seismik ini memiliki interval cuplik  $\Delta t = 0,02 \text{ md}$  dan panjang runtun waktu  $N = 4500 \text{ md}$ . Dari rekaman isyarat asli, runtun seismik yang terjadi dalam interval waktu 600 md sampai dengan 4500 md menunjukkan intensitas frekuensi kejadian seismik yang cukup panjang dibandingkan dengan seismik pertama dan kedua dari stasion Pasar Bubar.

Runtun seismik yang diuji memiliki amplitudo yang bervariasi antara 10.000 sampai 100.000 yang berdasarkan lokasi yang tidak sama dan runtun kejadian pengambilan data. Analisis multiresolusi digunakan untuk memperoleh hasil yang efisien pada isyarat dengan translasi parameter  $\sigma$  dan  $\tau$ . Aproksimasi diskret dan detil digunakan untuk menunjukkan tidak terjadinya perubahan

pencuplikan, dan kontruksi ortonormal Daubecies untuk gelombang-singkat digunakan untuk memulai data diskret atas fungsi  $\phi(t)$  dan  $\psi(t)$ . Juga diperlukan koefisien  $h_{(n)}$  dan  $g_{(n)}$  *Finite Impulse Response* (FIR) untuk mempercepat perhitungan numeris. Dengan berdasarkan teori gelombang-singkat, dicoba untuk mencari *onset* (waktu kejadian) aktivitas seismik sebenarnya dengan mengamati dan menganalisis isyarat-isyarat komponen Z, N, dan E.

Dari hasil penelitian, waktu komputasi yang diperlukan untuk analisis  $t = 0,22$  md dan waktu untuk menghilangkan derau  $t = 0,11$  md, sehingga dapat diketahui bahwa *onset* aktivitas seismik untuk stasion Pasar Bubar ternyata mulai 614,5 md seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1, dan stasion Klatakan serta stasion Selo ditunjukkan dalam Tabel 2, dan 3. Untuk menentukan *onset* yang tepat tidak dapat dilakukan hanya dengan mengamati salah satu komponen isyarat saja tetapi harus ketiga-tiganya yaitu Z, N, dan E, pada satu stasion untuk satu isyarat yang direkam. Dengan mengambil hasil rerata dari masing-masing runtun maka komponen Z yang semula berada pada *onset* 614,5 md menjadi 675,8 md.

Tabel 1. *Onset* Isyarat seismik stasion Pasar Bubar

Komponen	Runtun Isyarat ke (dalam milidetik)				
	1	2	3	4	5
Z	782,5	678,5	1054,5	614,5	654,5
N	782,5	654,5	958,5	590,5	662,5
E	758,5	598,5	870,5	822,5	630,5
Rerata	774,5	643,8	961,2	675,8	649,2

Ket.: Gelombang vertikal (Z), gelombang arah utara (N), gelombang arah timur(E).

*Onset* stasion Klatakan (Tabel 2) untuk runtun isyarat ketiga komponen Z dan E dimulai pada  $t = 4236,5$  md dan  $t = 4308,5$  md yang diperoleh karena kesulitan untuk menentukan di mana *onset* sebenarnya. Hal ini lebih disebabkan oleh sulitnya mengamati isyarat asli pada spektrum kejadian seismik yang lebih besar dan adanya derau akibat luruhan dan kesalahan instrumen.

Tabel 2. *Onset* Isyarat seismik stasion Klatakan

Komponen	Runtun Isyarat ke (dalam milidetik)				
	1	2	3	4	5
Z	870,5	758,5	4236,5	884,5	1022,5
N	1112,5	958,5	1318,5	918,5	1102,5
E	1094,5	1062,5	4308,5	1192,5	862,5
Rerata	1025,8	926,5	3317,8	2995,5	995,8

Ket.: Gelombang vertikal (Z), gelombang arah utara (N), gelombang arah timur(E).

Tabel 3. *Onset* Isyarat seismik stasion Selo

Komponen	Runtun Isyarat ke (dalam milidetik)				
	1	2	3	4	5
Z	1054,5	670,5	4334,5	782,5	934,5
N	942,5	758,5	1246,5	934,5	1110,5
E	1222,5	718,5	1118,5	830,5	1006,5
Rerata	1073,2	715,8	2233,2	849,2	3051,5

Ket.: Gelombang vertikal (Z), gelombang arah utara (N), gelombang arah timur (E).

*Onset* seismik yang ditunjukkan pada Tabel 3 tidak menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan antar masing-masing komponen, kecuali pada komponen Z isyarat 3 stasiun Selo perkiraan *onset* yang terjadi sangat berbeda ( $t = 4334.5$  md) dengan *onset* isyarat lainnya pada masing-masing runtun isyarat, yang juga lebih disebabkan oleh hal yang sama pada stasiun Klatakan.

### KESIMPULAN

Dari hasil penelitian implementasi gelombang-singkat untuk pengolahan data seismik dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Telah dibuat sistem pengolahan data seismik dengan memanfaatkan teori gelombang-singkat, yang direalisasikan dalam komputer dengan menggunakan perangkat-lunak Matlab versi 5.3. Model yang digunakan dalam pengolahan ini adalah gelombang-singkat Daubechies1.
2. Pengolahan data isyarat seismik dengan menggunakan gelombang-singkat memerlukan waktu untuk analisis  $t = 0,22$  md dan untuk menghilangkan derau  $t = 0,11$  md.
3. Dengan menggunakan gelombang-singkat, penentuan *onset* dapat dilakukan dengan hanya mengamati spektrum warna energi dari data seismik yang diolah sehingga waktu yang diperlukan untuk mengenali dan memutuskan yang mana *onset* sebenarnya menjadi lebih mudah dan cepat.
4. Hasil pengujian dengan gelombang-singkat isyarat yang tercampur dengan derau instrumen masih dapat ditemukan data dan *onset*-nya.

### KEPUSTAKAAN

- Dibble, R.R., 1974, *Volcanic Seismologi and Accompanying Activity of Ruapehu Volcano (New Zealand)*, Developments in Solid Earth Geophysics, Elsevier Scientific Publishing Company, Amdterdam.
- Fadeli, A.R., 1987, *An Analysis os Seismic Data From Merapi Volcano (Central Java)*, Gadjah Mada University, Yogyakarta.
- Minakami, T., 1974, *Seismology of Volcanoes in Japan*, Developments in Solid Earth Geophysics, Volume 6, Elsevier Scientific Publishing Company, Amdterdam.
- Sudarmaji., 1999, *Pengklasifikasi Gempa Vulkanik Otomatik Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan Tipe Pengelompokan Pola Adaptif*, Skripsi S1, FMIPA Universitas Gadjah Mada.
- Yilmaz, O., 1987, *Seismic Data Processing*, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa.

